

# 船舶领域及其影响因素研究综述

马野, 朱景林

(大连海事大学航海学院, 辽宁 大连 116026)

**摘 要:** 针对目前船舶领域研究中模型众多、考虑因素均不全面、使用条件各有局限等现状, 为了全面认识船舶领域的影响因素, 通过对国内外典型的船舶领域模型进行梳理, 在介绍各船舶领域模型的特点、所考虑的影响因素及其适用条件的基础上, 综合分析影响船舶领域的各种因素, 为日后研究船舶领域模型明确了方向, 为进一步完善船舶领域模型奠定基础。

**关键词:** 船舶领域; 影响因素; 研究综述

**中图分类号:** U675

**文献标志码:** A

## 引言

近年来无人船舶的研究如火如荼。智能避碰是无人船舶领域的核心问题, 而船舶领域是智能避碰中的关键问题, 其重要性不言而喻。迄今为止, 国内外专家学者提出了多种船舶领域模型, 但各有其适用条件, 对影响因素考虑不周全<sup>[1]</sup>。本文在介绍船舶领域国内外主要研究成果, 梳理其优缺点及适用条件的基础上, 全面分析影响船舶领域的因素, 以期后续开发新型船舶领域模型及深入研究船舶智能避碰奠定基础。

## 1 船舶领域模型的国外研究现状

船舶领域由日本学者藤井弥平于 20 世纪 60 年代初提出, 70 年代初欧洲学者相继开始研究。在此后五十余年期间, 比较有代表性的国外船舶领域模型有藤井模型、Goodwin 模型、变更中心船位和船首向的椭圆领域模型、八边形模糊领域模型等。

### 1.1 藤井模型

日本专家藤井在研究某水道的交通容量时, 结合道路交通的研究成果首次提出船舶领域这一概念。他将船舶领域定义为绝大多数后继船舶驾驶人员避免进入的前一艘在航船舶周围的领域。藤井以通航密度均匀的交通流通过航道中的某一障碍物的情况为例来探索船舶领域的边界。在考虑了通航密度、潮流和船速等因素后, 其得出的船舶领域模型是以船舶(被避让船舶)为中心、

长半轴沿船首尾线方向、短半轴沿船舶正横方向的一个椭圆。一般情况下, 船舶航行中被追越船舶的领域尺度为  $8L$  和  $3.2L$  构成的椭圆( $L$  为船舶长度)。如果船舶在有限速要求的港内或狭窄水域航行时, 则船舶领域的尺度下降为  $6L$  和  $1.6L$  构成的椭圆, 如图 1 所示<sup>[2-4]</sup>。

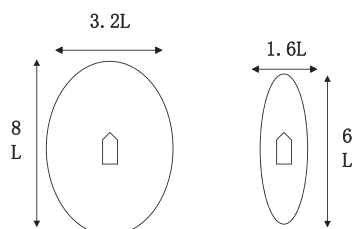


图 1 藤井模型

### 1.2 Goodwin 模型

文献<sup>[5]</sup>对开阔水域的船舶领域模型进行了探究。如图 2 所示, Goodwin 将船舶领域定义为一艘船舶周围的有效区域, 并选定某船, 以该船为中心绘制他船相对位置, 得到以该船为中心的其他船舶的船位分布图, 中央空白区域代表的便是船舶领域。因为 Goodwin 模型考虑了《国际海上避碰规则》(以下简称“《规则》”) 对船舶避碰行为的影响(《规则》对不同方位上的来船规定了不同的避让行动原则), 所以船舶领域的几何图形为非对称模型。在考虑了船长、操纵性能、交通密度、海域类型以及《规则》等因素后, 其

收稿日期: 2019—02—25

第一作者简介: 马野(1994—), 男, 硕士研究生  
基金项目: 国家自然科学基金项目(51309043)

得出的船舶领域模型是由以本船为中心的三个不等扇形区域组合而成。第一部分扇形位于船舶正前方至右正横后  $22.5^\circ$ ，半径为 0.85 海里；第二部分扇形位于船舶正后方至左右正横后  $22.5^\circ$ ，半径为 0.45 海里；第三部分扇形位于船舶正前方至左正横后  $22.5^\circ$ ，半径为 0.7 海里。

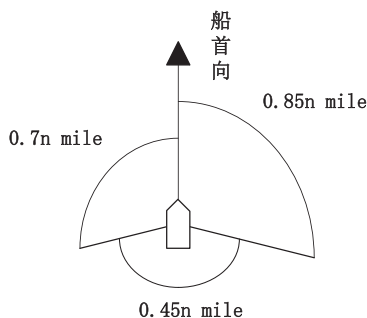


图2 Goodwin 模型

### 1.3 变更中心船位和船首向的椭圆领域模型

文献<sup>[6]</sup>利用船舶领域模型计算船舶会遇和会遇率来衡量海上交通危险标准的时候，把Goodwin和藤井二人的船舶领域模型中各自优点融合在一起，提出了变更中心船位和船首向的椭圆领域模型。该模型不仅包括了两种方法的影响因素，而且还增添了船舶危险等级这一因素。变更中心船位和船首向的椭圆领域模型外形仍为椭圆，但将中心船位向后移动且使船首向左偏转一个角度，使得该船舶领域三部分的面积大致与Goodwin领域的三个扇形面积成比例，如图3所示。椭圆长半轴  $a$  取 1.5 海里，短半轴  $b$  取 1 海里，船首偏转角度为  $20^\circ$ 。

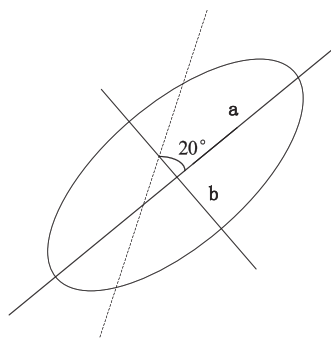


图3 平滑不等扇形领域边界的圆形模型

### 1.4 八边形模糊船舶领域模型

文献<sup>[7]</sup>提出了八边形模糊船舶领域模型，如图4。首先，利用人工神经网络以两船间的距离、相对方位、来船航向等相关变量作为输入，本船航行危险度作为输出的经验数据进行学习，求出输入与输出之间的映射关系，得到船舶领域的模

糊边界。其次，利用两艘船舶来进行模拟。此次实验所得到的数据来自于具有丰富工作经验和良好操纵水平的船舶驾驶人员。一艘作为中心船，另外一艘作为目标船。驾驶人员对于不同的会遇情况利用自己的航海知识、经验确定船舶间的安全会遇距离。最后，在分析了船舶会遇状况后，将模糊逻辑、神经网络相结合得到不同船长条件下的八边形模糊船舶领域。此模型考虑了船舶吨位的大小、船舶操纵性能、航速和附近其他船舶航速以及它们的相对速度、航行水域的通航密度、定位精度，驾驶人员的航海知识与经验以及接受航海专业教育和培训的程度<sup>[8-10]</sup>。

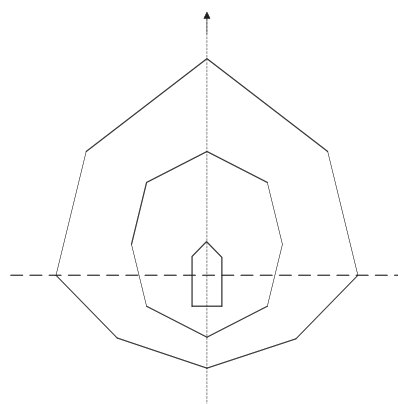


图4 八边形模糊船舶领域

## 2 船舶领域模型的国内研究现状

相比于国外的研究，国内对于船舶领域的研究起步较晚，直至上个世纪九十年代，我国各研究单位才开始重视船舶领域模型的研究。目前我国这一方向的研究成果多集中于大连海事大学、武汉理工大学等少数几个高等院校中。有代表性的船舶领域模型主要有以下几种<sup>[11]</sup>。

### 2.1 互见中开阔水域、能见度不良时和狭水道或航道中船舶领域的模型

文献<sup>[12]</sup>研究和分析了船舶驾驶人员的避碰行为，根据船舶发生碰撞事故的过程和研究自动避碰系统的需要，认为船舶领域可定义为“为保证航行安全避免发生碰撞事故所保留的水域，如果来船进入该水域，则形成紧迫局面”。利用对船舶驾驶人员的避碰行为所做的问卷调查，对不同条件中船舶领域模型的形状和范围进行了界定；根据调查结果得到互见中开阔水域、能见度不良时和狭水道或航道中船舶领域的模型。

其中，互见中开阔水域的船舶领域模型可近似看作一椭圆，如图5所示。该椭圆长轴是 0.9 海里，短轴是 0.75 海里，短轴向下偏移 0.25 海里， $q$  表示来船相对于本船方位， $D_s$  为本船到领域边

界的距离。在能见度不良时,该模型考虑了航行安全和《规则》要求等,将能见度不良时船舶领域模型描述为:正横前取半径为2海里的半圆,正横后取船尾处1海里并向左右正横2海里处连接的等腰三角形,如图6所示。对于狭水道或航道中的船舶领域,该模型在考虑了对遇和交叉会遇两种会遇局面后,将领域模型确定为一椭圆,如图7所示。船舶在椭圆的中心,椭圆长半轴是6链,短半轴是1.75链,船舶后方取1.75链为半径的圆。

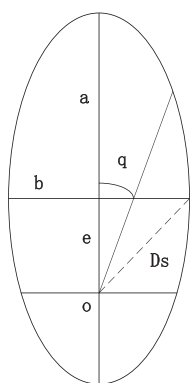


图5 互见中开阔水域的船舶领域模型

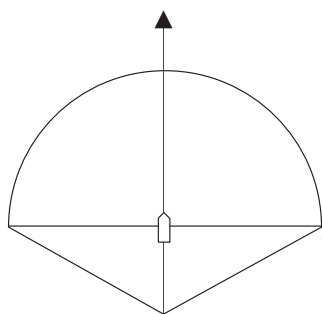


图6 能见度不良时船舶领域模型

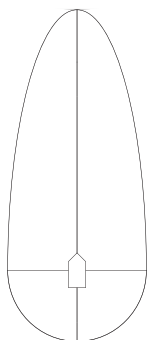


图7 狭水道或航道中船舶领域模型

## 2.2 可变尺寸的船舶领域模型

文献<sup>[13]</sup>在研究拥挤水域内的船舶领域时,综合考虑了船舶操纵性能、驾驶人员素质、航行环境和航速等因素对船舶领域的影响,得出了可变尺寸的船舶领域模型,也称拥挤水域中的船舶

领域模型,如图8。拥挤水域中的船舶领域形状为椭圆,椭圆的长短半轴分别与船长、船宽为比例关系:

$$a = \left(\frac{1}{2}L\right) \bullet K \bullet V \quad (1)$$

$$b = \left(\frac{1}{2}B\right) \bullet K \bullet V^{K_0} \quad (2)$$

式(1)(2)中,a、b分别为椭圆的长、短半轴;L、B分别为船长、船宽;V为航速;K为与船速相关的比例因子; $k_0$ 为系数且小于等于1。当使用该模型进行避让的时候,利用位置预报的方式来避让。

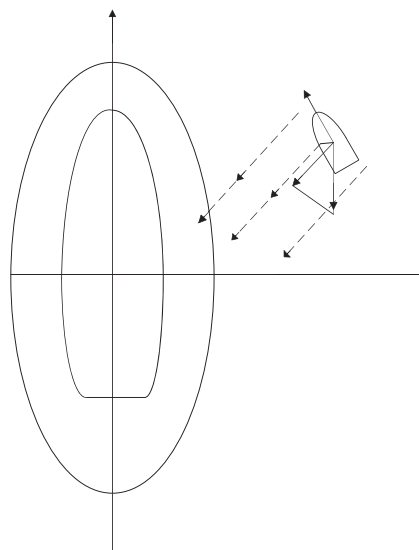


图8 可变尺寸的船舶领域模型

## 2.3 内河水域船舶领域三维模型

文献<sup>[14]</sup>对我国内河船舶操纵与避碰特点进行探索。内河航道复杂多变:航道浅窄,船舶易发生浅水效应和岸壁效应,净空高度或净宽不足,船舶通航危险度较高等。二维的船舶领域模型若应用于内河水域,则会表现出较大的局限性,故借助于二维船舶领域模型的理论,基于内河船舶操纵、避碰和航道的特点,引入狭窄水域船舶领域三维模型的概念。综合实船操纵性试验的结果,并考虑本船条件(船舶尺度、操纵性能等)等因素后,得出部分特定船舶的桥区避碰三维领域模型,如图9所示。此领域模型是包容在一个长方体中的内切椭球形模型,其中长方体的长度即是船舶领域的长度,长方体的宽度即为船舶领域的宽度。长方体虚线所表示的位置便是船舶水线面的位置,虚线以上的高度应不小于船舶自身在水线面以上的最大高度加上一安全余量,而虚线以

下的深度也应不小于船舶的吃水加上安全航行必须的富余水深所得的值。

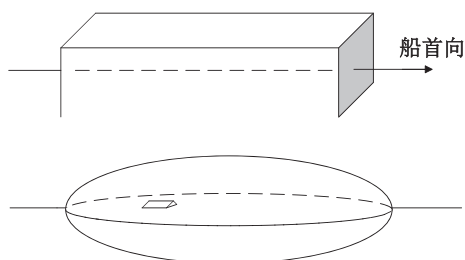


图9 内河水域船舶领域三维模型

## 2.4 模糊四元船舶领域模型

文献<sup>[15-17]</sup>以统一解析框架为基础,运用智能技术提出了四元动态船舶领域模型。该领域大小由四元数确定,包括4个半径,即前、后、右和左。领域的形状由参数 $k$ 建模,随着 $k$ 值不同,边界形状也不同。 $k=1, 2 \cdots N$ ,当 $k=1$ 时边界为多边形; $k=2$ 时,边界为椭圆形,随着 $k$ 值的不断增大,边界趋近于矩形。这使得船舶领域模型更加灵活,领域边界不仅能够是线性的,还能够是非线性的。该模型的船舶领域结构如图10所示。此模型良好地体现了船舶尺度、船速、船舶操纵性等变量对船舶领域所产生的影响。对不同船型和航速的船舶使用该模型的准确性有着积极作用。

图10中 $R_{fore}$ 、 $R_{aft}$ 、 $R_{starb}$ 、 $R_{port}$ 的数值按照式(3)求得。船舶领域的边界按照式(5)求取。

$$\begin{cases} R_{fore} = (1 + 1.34\sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2}) \cdot L \\ R_{aft} = (1 + 0.67\sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2}) \cdot L \\ R_{starb} = (0.2 + k_{DT}) \cdot L \\ R_{port} = (0.2 + 0.75k_{DT}) \cdot L \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中, $L$ 为本船的船长; $k_{AD}$ 、 $k_{DT}$ 为船舶旋回进距和初径的系数, $k_{AD}$ 、 $k_{DT}$ 不仅能够利用已知的进距和旋回初径的数据计算求取,还能够利用船速估算得出,如式(4)所示:

$$\begin{cases} k_{AD} = \frac{AD}{L} = 10^{0.3591 \lg v + 0.0952} \\ k_{DT} = \frac{DT}{L} = 10^{0.5441 \lg v - 0.0795} \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中, $v$ 代表船舶的速度,从计程仪、GPS等助航设备中能够得出本船的船速,目标船速度可由AIS系统提供。模型边界的方程为:

$$f(x, y) = \left( \frac{2y}{(1 + \operatorname{sgn} x) R_{fore} - (1 - \operatorname{sgn} x) R_{aft}} \right)^2 + \left( \frac{2x}{(1 + \operatorname{sgn} y) R_{starb} - (1 - \operatorname{sgn} y) R_{port}} \right)^2 \quad (5)$$

其中,

$$\operatorname{sgn} x = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases} \quad (6)$$

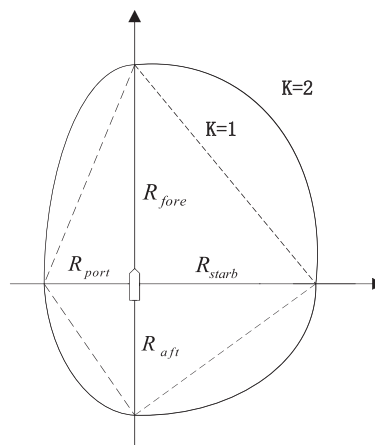


图10 模糊四元船舶领域模型

由表1可知,随着人们对船舶领域模型研究的深入,总体来说在建立领域模型时所考虑的影响因素由以前只注重环境、船舶因素逐渐转变为尽可能更全面地考虑人为、环境、船舶和《规则》因素;适用的水域由原来只针对某一具体水域逐渐转变为任何水域;模型的结构由二维静态逐渐向多维动态发展。从船舶领域模型的变化规律来看,在后续研究时应建立多维、动态的领域模型,力求其应用场合更加广泛。

## 3 船舶领域模型的影响因素分析

一个完整的水上交通系统是由船舶本身、船舶驾驶人员、通航环境三部分组成。船舶领域涉及船舶本身、驾驶人员的素质及技术、通航环境三个方面。那么在这个系统中,三个主要因素中的任何一个发生改变都会对船舶领域产生影响。船舶在航行过程中又要遵守《规则》,所以我们可以将这些影响细分为人为因素、环境因素、船舶因素和《规则》因素<sup>[18]</sup>。

### 3.1 人为因素

船舶驾驶人员的素质和由工作经验所积累的操纵水平都是人为因素对船舶领域的影响。驾驶



表 1 领域模型对比

模型名称	产生时间	推导方法	主要适用水域	模型考虑的影响因素
藤井模型	1971 年	统计法	狭水道或航道	船速、通航密度、潮流等
Goodwin 模型	1975 年	统计法	开阔水域	船舶尺度、操纵性能、通航密度、海域类型、《规则》等
变更中心船位和船首向的椭圆领域模型	1997 年	统计法	任何水域	船舶尺度、操纵性能、通航密度、潮流、海域类型、《规则》、船舶危险等级等
八边形模糊船舶领域模型	2010 年	智能技术	任何水域	船舶尺度、操纵性能、通航密度、定位精度，人为因素等
互见中开阔水域、能见度不良时和狭水道或航道中的船舶领域模型	2000 年	统计法	分别适应互见中开阔水域、能见度不良时、狭水道或航道	船舶尺度、船速、交通流情况、会遇形式、《规则》、人为因素等
可变尺寸的船舶领域模型	1989 年	解析表达式	拥挤水域	操纵性能、航行环境、人为因素等
内河水域船舶领域三维模型	2004 年	解析表达式	内河水域	船舶尺度、操纵性能、交通密度、会遇形式、水文地理、人为因素等
模糊四元船舶领域模型	2010 年	智能技术	任何水域	船舶尺度、船舶操纵性等

人员的素质主要是指船舶驾驶人员对航行知识、船舶操纵技术的掌握程度以及船员本身的工作态度和敬业精神。具有丰富航行知识和熟练船舶操纵技术的驾驶人员对船舶航行中安全距离的把握及避碰行动采取的时机与幅度都会更科学、合理；并且船舶驾驶人员采取避碰行动时的心理状态、行动时机和幅度取决于在船舶驾驶中经验的积累。以上因素都将影响船舶驾驶人员在航行中与他船之间保持的安全距离，影响驾驶人员对船舶领域所做的判断，但有经验的驾驶人员对同一会遇局面的判断及避让过程中安全距离的把握基本相同<sup>[19]</sup>。

3.2 环境因素

为了便于分析，本文将环境因素分为自然环境和通航环境两大类因素。其中，自然环境因素包括气象、水文和航道条件；通航环境因素包括船舶交通管理系统、定制线规定、助航标志和船舶交通流情况等。

3.2.1 自然环境因素

1) 气象条件

水域的风、雨、雪、雾等要素组成了气象条件，这些都是影响船舶领域的要素。船舶航行漂移量受所在水域风速、风向的影响；雨、雪、雾主要影响能见度，能见度会对驾驶人员的瞭望和定位产生影响，碍航物难以被发现，船员难以辨

别需要避让的目标<sup>[20]</sup>。

2) 水文条件

波浪、水流及冰况等条件组成了水文条件，这些也是影响船舶领域的要素。水流不但会使船舶发生漂移而且对航速也会产生影响；波浪同样会影响到船舶的漂移量及航速，进而影响船舶领域的大小；船舶在冰区航行时为保证安全一般需要经常改变航向、航速，有冰的水域通常伴随着能见度降低的现象，这些因素都会使得船舶领域大小发生改变<sup>[21]</sup>。

3) 航道条件

航道的长度、宽度、水深、弯曲度及跨越建筑物的通航尺度等组成了航道条件。可通航船舶的大小取决于航道的实际尺度和维护尺度；驾驶人员的操纵难度受跨河建筑物的通航尺度、航道弯曲度和航道的控制段等因素影响<sup>[22]</sup>。

3.2.2 交通环境因素

1) 船舶交通管理系统

使用船舶交通管理系统，会增加船舶通过特定水域的安全性，会使因事故而导致的交通流堵塞等情况减少，从而间接地对船舶领域产生影响。

2) 定线制规定

船舶定线制是一条或数条航路的任何制度或定线措施，包括分道通航制、环形道、沿岸通航带、双向航路、推荐航路、深水航路等，根据实

实际需要单独或组合使用。在实施船舶定线制的水域内,船舶间的会遇形式可能会发生改变,如在分道通航制水域内船舶领域主要为追越形式的船舶领域<sup>[23]</sup>。

### 3) 助航标志

完善的助航标志能给船舶起到便利的导助航作用,可减少船舶在航行中因误认航道而发生搁浅和碰撞等事故,间接影响船舶领域。

### 4) 船舶交通流情况

通常情况下,整个水域交通流的速度被交通流中速度较慢的船舶所决定,并且受水流的影响,航行中的船舶顺流时的航速会明显大于顶流时的航速,于是便会出现顺流交通流的速度大于顶流交通流的速度,船舶领域会受到速度的影响而发生改变<sup>[24]</sup>。

## 3.3 船舶因素

### 1) 船舶尺度

船舶尺度是确定船舶领域大小的主要因素。不同尺度的船舶所占用空间不同,船舶操纵性也不同。随着船舶尺度的增大会导致船舶惯性逐渐变大、舵效逐渐变差,受风、流和水深的影响突出。需要进行机动操纵时往往富余水深相对较小,回旋余地受限,驾驶人员将会保持的安全距离也需相应增大<sup>[25]</sup>。

### 2) 船舶装载类型

船舶的潜在危险会根据交通流中船舶装载类型的变化而变化,相应的船速、安全距离也不尽相同。如运输危险品船舶需要建立的船舶领域相对较大。所以不同的船舶类型会使船舶领域有所差异。

### 3) 船舶操纵性

船舶操纵性不尽相同,而操纵性能的差异将会对驾驶人员采取避碰行动的时机产生决定性影响,驾驶人员确定船舶间安全间距也基于此,因此,会使船舶驾驶人员判断自身船舶的领域发生改变。操纵性差的船舶和其他船舶需要保持更大的安全距离,由此可以得出操纵性差的船舶其领域应大于操纵性好的船舶的结论<sup>[26]</sup>。

## 3.4 《规则》因素

因为《规则》适用于公海和连接公海可供海船航行的一切水域中的一切船舶,所以船舶领域模型必须要考虑到《规则》条款对船舶避碰行为及会遇距离的要求。

《规则》第六条虽未明确规定安全航速的数值,但在建立领域模型时要充分考虑不同条件下的安全航速问题。《规则》第十三条第一款规定“任何船舶在追越任何他船时,均应给被追越船

让路。”第十四条第一款规定“当两艘机动船在相反的或接近相反的航向上相遇致有构成碰撞危险时,各应向右转向,从而各从他船的左舷驶过”。第十五条规定“当两艘机动船交叉相遇致有构成碰撞危险时,有他船在本船右舷的船舶应给他船让路,若当时环境许可,还应避免横越他船前方。”所以船舶领域模型的构建要对前方和右方的来船重点考虑。《规则》第十九条规定在能见度不良时,无让路船与直航船之分,各船均负有同等的避让责任,所以在能见度不良时,各船领域应相应变大<sup>[27-32]</sup>。

综上所述,众多影响因素都会对船舶领域模型的大小、形状产生影响;且在不同的条件下,各影响因素对船舶领域的影响程度不同。由于人为因素不便控制,且就具体船舶而言,若配备了经验丰富的驾驶人员则其对船舶领域的影响甚微,故在船舶领域的研究过程中通常不予考虑,而对环境因素、船舶因素和《规则》因素则应进行着重分析、研究。

## 4 结论与展望

通过对国内外现有几种典型船舶领域模型进行分析,发现随着对船舶领域模型研究的深入,船舶领域模型所包含的影响因素更全面、适用水域更广泛,模型结构向多维、动态发展。在考虑影响因素时,人为因素可不予考虑,对其他影响因素应综合分析。

在后续研究中,为满足避碰实践的需要,可建立基于环境因素变化的动态船舶领域模型,除应考虑环境因素外,还应尽可能全面顾及其他因素,使得新建的模型既能真实、完整地反映各种因素对船舶领域的影响,又能体现领域模型的本质结构。

## 参考文献:

- [1] 刘绍满,王宁,吴兆麟.船舶领域研究综述[J].大连海事大学学报,2011,37(1):51-54.
- [2] 吴兆麟,朱军.海上交通工程(第二版)[M].大连:大连海事大学出版社.
- [3] FUJII Y, TANAKA K. Traffic capacity[J]. Journal of Navigation, 1971,24:543-552.
- [4] 藤井弭平.小型船舶的闭塞领域的调查.船舶技术研究所报告,1996,48:147-154.
- [5] GOODWIN E M. A statistical study of ship domains [J]. Journal of Navigation, 1975,28:329-341.
- [6] Tak C V, Spaans J. A Model for Calculating a Maritime Risk Criterion Number. Journal of Navigation[J]. 1997,30(2):287-295
- [7] PIETRZYKOWSKI Z. Ship's fuzzy domain—

- a criterion for navigational safety in narrow fairways[J]. *Journal of Navigation*, 2008,61:499–514.
- [8] PIETRZYKOWSKI Z, URIASZ J. Ship domain in navigational situation assessment in an open sea area[C]. *Proceeding of the 5th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries*. Oegstgeest, Netherlands: Elsevier Science, 2006:237–244.
- [9] PIETRZYKOWSKI Z, URIASZ J. The ship domain—a criterion of navigational safety assessment in an open sea area[J]. *Journal of Navigation*, 2009,62:93–108.
- [10] PIETRZYKOWSKI Z, URIASZ J. The ship domain in a deep-sea area[C]. *Proceeding of the 3rd International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries*. Siguenza, Spain: Elsevier Science, 2004:204–211.
- [11] 丁法. 基于 AIS 数据的开阔水域船舶领域分析研究[D]. 大连海事大学. 2016.
- [12] 孙立成. 船舶避碰决策数学模型的研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2000.
- [13] 贾传荧. 拥挤水域内船舶领域的探讨[J]. 大连海事大学学报, 1989,15(4):15–19.
- [14] 徐周华, 牟军敏, 季永清. 内河水域船舶领域三维模型的研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2004,28(3):380–38.
- [15] WANG N, MENG X Y, XU Q Y, et al. A unified analytical framework for ship domains[J]. *Journal of Navigation*, 2009,62(4):643–655.
- [16] WANG N. An intelligent spatial collision risk based on the quaternion ship domain[J]. *Journal of Navigation*, 2010,63(4):733–749.
- [17] 王宁, 刘刚健, 董诺等. 一种基于广义自组织神经网络的船舶领域模型的修正方法[P]. 中国, CN201310116651, 2013.
- [18] 周丹, 郑中义. 能见度良好时影响船舶领域的因素的重要性分析[J]. 哈尔滨工程大学学报. 2017,38(1):1–6
- [19] 刘绍满. 内河船舶拥挤水域通过能力的研究[D]. 大连海事大学. 2006.
- [20] 黄寅. 风流作用下的内河船舶领域模型及应用研究[D]. 武汉理工大学. 2012.
- [21] 范志鹏. 刘家峡库区船舶碰撞危险的预测研究[D]. 大连海事大学. 2005.
- [22] 万长征. 桥区航道船舶通过能力研究[D]. 武汉理工大学. 2008.
- [23] 陈厚忠, 郭国平. 内河并列桥梁区水域船舶领域模型与通过能力研究[J]. 船海工程. 2008, 37(5):113–116.
- [24] 代君, 王当利, 刘克. 基于船舶领域模型的港口受限航道通过能力计算方法[J]. 2009,33(4):679–682.
- [25] 刘明俊, 万长征. 航道通过能力影响因素的分析[J]. 船海工程. 2008,37(5):116–118.
- [26] 郭禹. 航海学[M]. 大连: 大连海事大学出版社.
- [27] 王仁强. 基于船舶领域的船舶避碰行动决策研究[D]. 大连海事大学. 2012.
- [28] 康与涛, 朱大奇, 陈伟炯. 船舶避碰路径规划研究综述[J]. 船海工程. 2013,42(5):141–145.
- [29] 毕修颖, 贾传荧, 吴兆麟等. 船舶避碰行动领域模型的研究[J]. 大连海事大学学报. 2003,29(1):9–12.
- [30] 郑中义, 吴兆麟. 船舶碰撞危险度的新模型[J]. 大连海事大学学报. 2002,28(2):1–5.
- [31] 吴兆麟, 赵月林. 船舶避碰与值班[M]. 大连: 大连海事大学出版社.
- [32] 张铎. 1972 年国际海上避碰规则理解与适用[M]. 大连海事大学出版社.

## Review of Research on Ship Domain and Its Influencing Factors

MA Ye, ZHU Jing-lin

(Navigation College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

**Abstract:** In view of the large number of models in the current shipdomain field study, the factors are not comprehensive, and the conditions of use are limited. In order to comprehensively understand the influencing factors in the ship domain, the typical ship domain models at home and abroad are combed to introduce various ship domain models. On the basis of the characteristics, the influencing factors considered, and the applicable conditions, various factors affecting the ship domain are comprehensively analyzed, and the direction for future research on the ship domain model is clarified, laying the foundation for the further improvement of the ship domain model.

**Keywords:** ship domain; influencing factors; review of research